

*Выводы и заключение.* Проведенные исследования позволили разработать конструкцию «серого» инфракрасного излучателя с неравномерностью распределения температуры по поверхности не более 1 °С. Градиент температур между датчиком температуры и излучающей поверхностью составил не более 6 %. Преимуществом представленной модели является время выхода на режим не более 10 секунд при температурном градиенте по поверхности как у протяженных излучателей, представленных на рынке с существенно большим временем выхода на режим.

### **Список использованных источников**

1. Arduino PID library [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://playground.arduino.cc/Code/PIDLibrary> – (Дата обращения: 26.04.2018).
2. Arduino [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://Arduino.cc/> – (Дата обращения: 26.04.2018).
3. ANSYS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ansys.com/> – (Дата обращения: 26.04.2018).
4. Модель инфракрасного излучателя / Е.Ю. Котышков, Д.Б. Пономарев // Материалы III Всероссийской студенческой научно-технической конференции. – Омск: ОмГТУ, 2017. – С. 107-110.
5. Влияние погрешностей задания рабочих параметров на точность измерения температуры инфракрасными приборами / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев // Измерительная техника. 2016. № 1. С. 60-64.
6. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК-прибора / Е.В. Левин, А.Ю. Окунев // Измерительная техника. 2015. № 5. С. 48-52.
7. Investigation of the directional emissivity of materials using infrared thermography coupled with a periodic excitation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hal.inria.fr/hal-01388188/document> (дата обращения: 28.04.2018).

УДК 004.921

**В. Н. Логинов, К. А. Щипанов, В. В. Лавров**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОИСКА ОБЪЕКТОВ НА ПОЛУТОНОВОМ ИЗОБРАЖЕНИИ И ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ПОДХОДЯЩЕГО МЕТОДА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММЫ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

### **Аннотация**

*В процессе производства металлических изделий и металлоконструкций в материале нередко возникают различные дефекты, влияющие на эксплуатационные характеристики*

объекта. Для выявления внутренних дефектов используется радиографический метод контроля, который позволяет оценить качество материала контролируемого объекта по рентгенографическому снимку, который далее оцифровывается и передается на анализ. В статье приведен обзор методов поиска объекта на полутоновом изображении (снимке) и выбран наиболее точный и работоспособный метод.

**Ключевые слова:** дефекты металла, поиск, радиография, алгоритмы, полутоновые изображения, неразрушающий контроль

#### **Abstract**

*In the process of manufacturing metal products and metal structures, various defects that affect the operational characteristics of the object often arise in the material. To detect internal defects, the radiographic method of monitoring is used, which allows to evaluate the quality of the material of the monitored object using an X-ray photograph, which is then digitized and sent for analysis. The article gives an overview of the methods of searching for an object on a halftone image (snapshot) and selected the most accurate and workable method.*

**Key words:** metal defects, search, radiography, algorithms, halftone images, non-destructive testing

**Введение.** В связи с масштабной автоматизацией различных отраслей производства, а в частности, тяжелого машиностроения, потребность в создании качественного программного обеспечения и его внедрения особенно высока. В машиностроении при проведении радиографического контроля создается снимок контролируемого объекта с дефектами или без них. Далее снимок обрабатывается при помощи программно-аппаратных комплексов, которые обнаруживают и регистрируют найденные на изображении дефекты для составления акта или заключения о прохождении/непрохождении неразрушающего контроля объектом.

В настоящее время на рынке программного обеспечения присутствуют несколько программных продуктов, осуществляющих обработку полутоновых изображений. Однако эти продукты в большинстве своём поставляются в составе программно-аппаратных комплексов, что добавляет им в стоимости. Так, например, программное обеспечение X-Vizor [4], разработанное организацией «Ньюком-НДТ», поставляется только в составе программно-аппаратных комплексов «Карат КР», производимых данной компанией; программное обеспечение «ВидеоРен Про» [5], разработанное организацией «Юнитест-Рентген», поставляется в составе программно-аппаратных комплексов «Градиент».

#### *1. Постановка цели и задач*

Исходя из потребностей целевой отрасли, принято решение о создании собственного программного продукта, не уступающего своим аналогам. Для успешного создания программы необходимо последовательно выполнить ряд задач:

- сбор и анализ информации по теме исследования;
- разработка функциональной модели системы;
- разработка ядра приложения;
- разработка функционального интерфейса пользователя;
- тестирование и отладка продукта.

При разработке программного обеспечения особое внимание необходимо уделить разработке алгоритмической базы, так как этот компонент в большей

степени влияет надёжность и работоспособность программы. Алгоритмическая база программного продукта представляет собой набор программных взаимодействий, обеспечивающий качественную обработку входных данных. В различных случаях входные данные могут представлять собой объект из ряда стандартных для пользователя типов: текст, звук, изображение, видео и др.

## *2. Объект информатизации*

Для разрабатываемого продукта входные данные являются изображением рентгенографического снимка объекта, который прошел процедуру неразрушающего контроля радиографическим методом. Снимок представляет собой полутоновое изображение объекта контроля с наличием или отсутствием дефектов металла, таких как трещины, поры, кратеры, включения и др.

В качестве основного инструмента обработки входных данных используется библиотека алгоритмов компьютерного зрения и обработки изображений OpenCV [6, 7]. Библиотека OpenCV является свободно распространяемым продуктом под лицензией BSD с открытым исходным кодом, который может применяться как в коммерческих, так и в научных целях. Основной задачей начального этапа создания продукта является анализ и выбор основного алгоритмического обеспечения. В частности, необходимо выбрать наиболее подходящий механизм поиска определённых объектов на изображении. Библиотека OpenCV предоставляет ряд соответствующих программных средств:

- поиск по шаблону с помощью функции `matchTemplate(img, img_tpl, mode)`, где `img` – изображение, на котором требуется провести поиск по шаблону; `img_tpl` – непосредственно, сам шаблон; `mode` – формула расчета корреляции между двумя изображениями;

- поиск с использованием цветовых фильтров с помощью функции `InRange(img, hsv_min, hsv_max)`, где `img` – изображение, на которое накладывается цветовой фильтр; `hsv_min` – начальный цвет диапазона; `hsv_max` – конечный цвет диапазона;

- поиск с использованием контуров объектов с помощью функции `FindContours(img, mode, method)`, где `img` – изображение, на котором требуется провести поиск контуров; `mode` – режим поиска контуров; `method` – метод аппроксимации контуров;

- поиск с использованием характерных для искомого объекта точек с использованием функции `cv2.SimpleBlobDetector_create(detector_params)`, описывающей работу детектора областей с одинаковой яркостью и достаточно чёткой границей, выделяющихся на общем фоне. Аргументами функции являются: `detector_params` – объект конфигурации детектора, представляющий собой стек параметров, определяющих режим работы алгоритма;

- поиск с использованием методов машинного обучения при помощи классификатора (каскада) Хаара [11, 12]. Каскад Хаара – это машинно-обучаемая совокупность признаков Хаара, которая содержит примитивы, характеризующие искомый объект. В основе используется функция `CascadeClassifier(cascade)`, где `cascade` – это созданный для обнаружения определённых объектов классификатор (каскад) Хаара.

### 3. Исследование эффективности алгоритмов поиска объектов на изображении

Вышеописанные методы поиска объектов на изображении опробованы на тестовом образце (рис. 1) по порядку для определения наилучшего метода для цели исследований. Ниже представлены комментарии к результатам исследований по каждому методу поиска.

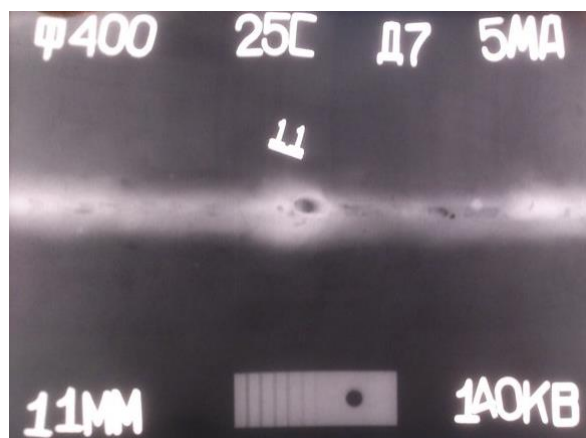


Рис. 1. Тестовый образец изображения рентгенографического снимка с дефектом контролируемого объекта

*3.1. Поиск по шаблону.* При применении данного типа поиска создано несколько шаблонов, сформированных из частей тестового изображения (рис. 2).

Результат применения данного типа поиска приведен на рисунке 5 «а». Необходимо отметить, что запуск файлов программы производился под управлением Python 3.6.1 (модуль Spyder 3.2.1), входящим в состав программного пакета Anaconda и не имеющим никаких различий в работе с интерпретатором Python 3.6.1, устанавливаемым отдельно.



Рис. 2. Шаблоны, по которым производился поиск:

*а* – шаблон с изображением поры диаметром ~ 3 мм;

*б* – шаблон с изображением цепочки пор протяженностью ~ 4 мм

При анализе полученных результатов установлено, что метод поиска по шаблону не обладает достаточной степенью гибкости для применения в разрабатываемом продукте, так как алгоритм, реализующий данный метод, в большей степени применим к однотипным искомым объектам и сверхчувствителен к изменению шаблонов поиска. При наличии бесчисленного множества форм дефек-

тов формирование шаблонов для поиска представляется крайне затруднительным. При этом выигрыш в трудозатратах на обработку одного изображения весьма сомнителен.

**3.2. Поиск с использованием цветowych фильтров.** При применении этого метода поиска тестовое изображение, используемое в качестве входных данных, приводится к черно – белой цветовой схеме для более корректной работы алгоритма. Также для гибкой настройки поиска создано дополнительное окно с настраиваемыми параметрами (рис. 3), которые представляют собой показатели цветовой модели HSV (Hue, Saturation, Value — тон, насыщенность, значение), используемой в алгоритме в качестве основной цветовой модели. Верхняя группа из трёх параметров с постфиксом «1» представляет собой определение нижней цветовой границы поиска. Нижняя группа из трёх параметров с постфиксом «2» представляет собой определение верхней цветовой границы поиска. Таким образом, можно осуществлять гибкую настройку поиска для достижения оптимального результата.

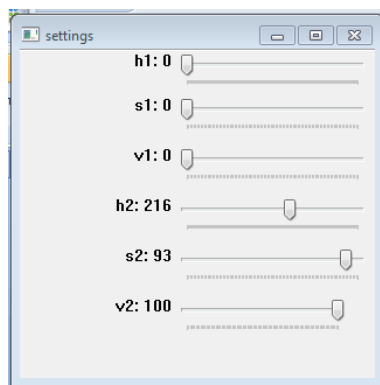


Рис. 3. Параметры, с помощью которых осуществляется настройка поиска

Результаты применения поиска с использованием цветowych фильтров представлены на рисунке 4, б. При этом все параметры, осуществляющие настройку поиска, установлены в оптимальные для целей поиска значения.

При анализе результатов работы алгоритма установлена его непригодность в качестве основного алгоритма поиска объектов на изображении в создаваемой программе. В случае наличия у искомого объекта четких границ и цветового контраста с фоном данный метод может быть успешно применён в качестве основного метода поиска объектов на изображении, однако из-за многообразия форм, оттенков цветов и размеров искомых объектов применение его в качестве основного алгоритма поиска невозможно. В большей части это обусловлено отсутствием ярко выраженного, относительно фона, цвета искомого объекта.

**3.3. Поиск с использованием контуров объектов.** При осуществлении данного типа поиска основным критерием совпадения являлось наличие у обнаруженного аппроксимированного объекта более восьми вершин. Наличие более восьми вершин свидетельствует о том, что найденный объект обладает округлым контуром, соответствующем таким видам дефектов металла, как порам (рис. 1), кратерам, свищам и другим характерным дефектам. Однако не все искомые объ-

екты обладают округлым контуром, что многократно усложняет процедуру поиска из-за отсутствия требуемой гибкости алгоритма. Результаты применения поиска с использованием контуров объектов приведены на рисунке 4, в.

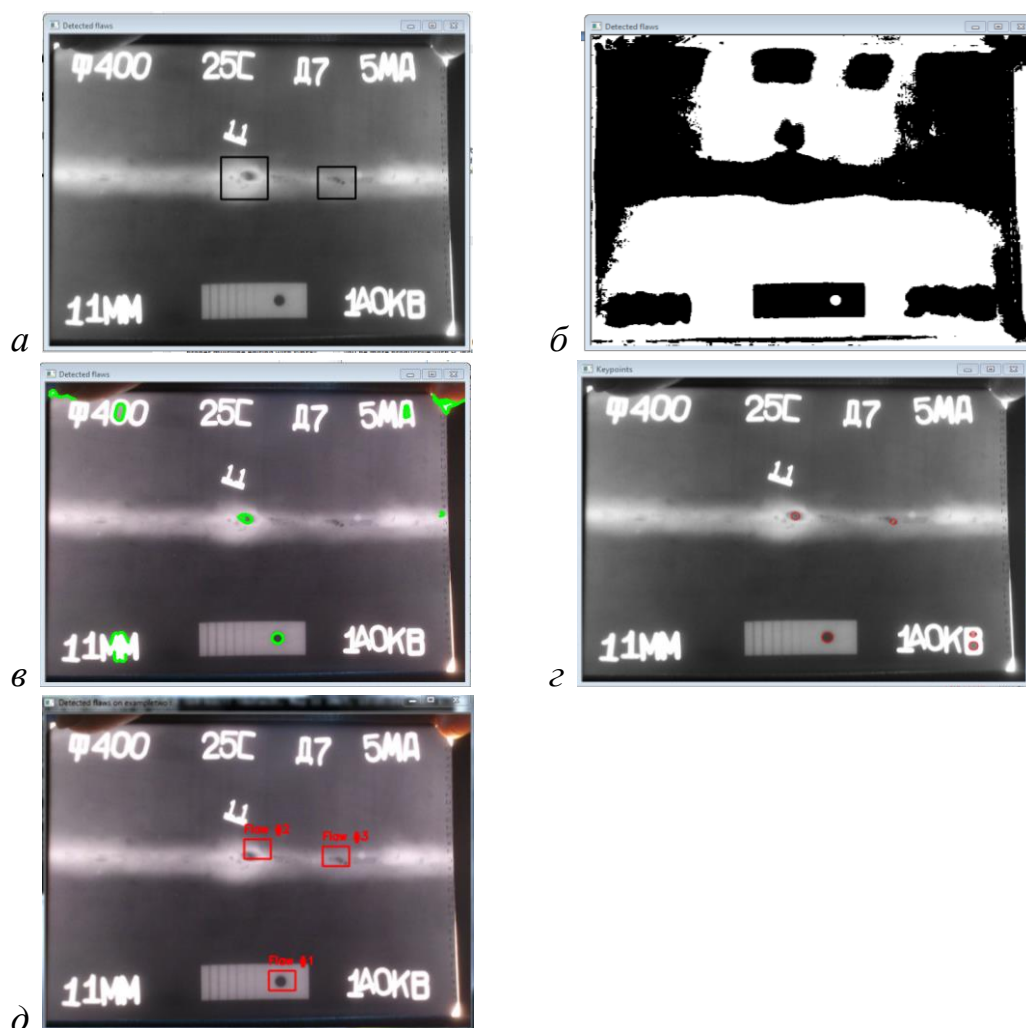


Рис. 4. Результаты применения к тестовому изображению различных видов поиска: а – поиск с использованием шаблонов; б – поиск с использованием цветowych фильтров; в – поиск с использованием контуров объектов; г – поиск с использованием характерных для искомого объекта точек; д – поиск с использованием классификатора Хаара

На рисунке 4, в отчетливо видны немногочисленные ложные совпадения, обусловленные в первую очередь наличием специфичных для обработанных рентгенографических снимков знаков, создающих помехи для работы алгоритма. Необходимо отметить, что при отсутствии помех алгоритм может быть применен для поиска объектов, имеющих однородные контуры и четкие границы, но изображения с разнообразными по форме объектами данным алгоритмом качественно обрабатываться не могут.

3.4. Поиск с использованием характерных для искомого объекта точек. При использовании данного типа поиска использован метод определения особых точек blob-объекта. Blob-объект – это группа связанных пикселей в изображении, которая имеет общее свойство (например, значение оттенков серого). Для особой точки вычисляют т.н. дескриптор – характеристику особой точки. Существует несколько методов расчёта дескрипторов для признаков объекта: SIFT, SURF, ORB и др. Нужно отметить, что некоторые методы расчёта дескрипторов являются запатентованными (например, SIFT) и их коммерческое использование ограничено. В функции SimpleBlobDetector\_create() используется метод «SimpleBlob», который в большей степени подходит для целей исследования.

Предварительно установлены необходимые значения конфигурационных параметров, определённые опытным путем для наиболее качественного поиска искомых объектов. На рисунке 5 представлена визуализация устанавливаемых параметров для формирования наиболее полного представления об их назначении. Для каждого параметра изменение его численного значения вызывает изменение примитива, которым этот параметр представлен:

- Area – площадь искомого объекта. Определяется её минимальная и максимальная граница.
- Thresholds – порог яркости искомого объекта. Определяется его минимальная и максимальная величина.
- Circularity – параметр, определяющий близость геометрической формы искомого объекта к окружности. Определяется его минимальное значение.
- Inertia – параметр, определяющий удлинение формы окружности. Например, для окружности значение этого параметра равно 1, для эллипса значение находится между 0 и 1, и для линии оно равно 0. Определяется его минимальное значение.
- Convexity – параметр, определяющий целостность контура искомого объекта. Определяется его минимальное значение.

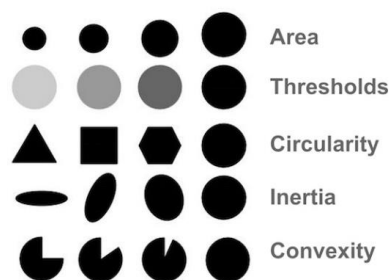


Рис. 5. Визуализация устанавливаемых параметров

Результаты поиска с использованием характерных точек искомого объекта отображены на рисунке 4, г. Красными точками отмечены найденные объекты. Для поиска более разнообразных по форме и размеру объектов необходима более гибкая настройка конфигурационных параметров.

На рисунке 4, г демонстрируются все найденные объекты, в числе которых находятся два искомых объекта. Обнаружение объектов, не являющихся иско-

мыми, обусловлено присутствием на изображении специальных символов, использующихся при обработке рентгенографических снимков. При этом метод поиска показал себя пригодным для обработки изображений рентгенографических снимков без специальных символов.

*3.5. Поиск с использованием методов машинного обучения при помощи классификатора (каскада) Хаара.* В основе работы классификатора лежит алгоритм Виолы – Джонса, позволяющий распознавать объекты на изображении в реальном времени и использующий для этого признаки Хаара. Признак Хаара – разность сумм пикселей двух смежных областей внутри некоторой геометрической фигуры, которая может занимать различные положения и масштабы на изображении. В данном методе признаки Хаара организованы в каскадный классификатор.

При создании классификатора выборка образцов – изображений, содержащих искомый объект, определяется встроенной в библиотеку утилитой *opencv\_createsamples.exe* и затем вводится в качестве входных данных в утилиту *opencv\_traincascade.exe*, которая обучает созданный классификатор распознаванию искомым объектов. Всего при создании и обучении классификатора использовано 400 негативных образцов и 200 позитивных. Результаты применения классификатора Хаара к тестовому изображению представлены на рисунке 4, д.

Необходимо отметить, что объём выборок для работы и обучения классификатора крайне невелик из-за ограниченности объема доступного материала. Тем не менее, данный метод успешно показал себя при поиске объектов на изображении, обнаружив два дефекта из двух на изображении. Также обнаружен элемент, являющийся частью специального символа для масштабирования дефектов. При наличии большего количества материала для обучения классификатора данный метод может успешно использоваться в качестве основного алгоритма обнаружения объектов в создаваемой программе.

*Заключение.* Проведённое исследование показало, что метод с использованием классификатора Хаара справился с поставленной задачей лучше всех. В первую очередь это обусловлено большей, по сравнению с другими методами, гибкостью поиска. Также данный метод подразумевает использование инструментов машинного обучения, что увеличивает автоматизацию и повышает точность поиска. Исходя из преимуществ данного метода, а также наличия многообразия форм и размеров искомым объектов, использование классификатора Хаара является наиболее предпочтительным для разрабатываемого программного обеспечения по идентификации дефектов металла на полутонковых изображениях, полученных с помощью радиографического метода неразрушающего контроля.

### **Список использованных источников**

1. ГОСТ 15467–79 Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. – Москва: Стандартинформ, 2009 – 21 с.



2. ГОСТ 30242–97 Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1997. – 8 с.
3. ГОСТ Р ИСО 6520–1–2012 Сварка и родственные процессы. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Часть 1. Сварка плавлением. – М.: Стандартиформ, 2014 – 36 с.
4. Группа компаний «Ньюком-НДТ» // Системы и комплексы компьютерной радиографии DUERR NDT [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – [Б. м.], 2018. – Режим доступа: <https://newcom-ndt.ru/x-vizor.html> , свободный.
5. Группа компаний «Юнитест» // Цифровая система «Видеорен ПРО» [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.unitest-roentgen.ru/produktsiya/tsifrovaya-radiografiya/kompleksy-tsifrovoj-radiografii-gradient/217-programmnoe-obespechenie-videoren-pro.html> , свободный.
6. OpenCV [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – [Б. м.], 2012. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/OpenCV.html> , свободный.
7. OpenCV [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – [Б. м.], 2018. – Режим доступа: <https://opencv.org> , свободный.
8. LearnOpenCV [Электронный ресурс] / Сатья Маллик – Электрон. дан. – [Б. м.], 2018. – Режим доступа: <http://www.learnopencv.com> , свободный.
9. Кэлэр А., Брэдки Г. Изучаем OpenCV 3 – М.: ДМК-Пресс, 2017. – 826 с.
10. Глория Буэно Гарсия, Оскар Денис Суарес, Хосе Льюис Эспиноса. Обработка изображений с помощью OpenCV. – М.: ДМК-Пресс, 2016. – 210 с.
11. Признаки Хаара [Электронный ресурс] // Википедия: свободная энциклопедия. – Электрон. дан. – [Б. м.], 2012. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Признаки\\_Хаара.html](https://ru.wikipedia.org/wiki/Признаки_Хаара.html) , свободный.
12. Habrahabr: Классификатор Хаара [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – М.: Тематические Медиа, 2006. – Режим доступа: <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/228195.html> , свободный.
13. Лутц М. Изучаем Python, 4-е издание. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 1280 с.
14. Лутц М. Программирование на Python, 4-е издание: в 2-х т. – Пер. с англ. – СПб.: Символ-Плюс, 2011. – 992 с.
15. Стасышин В.М. Проектирование информационных систем и баз данных: учебное пособие. – Новосибирск: НГТУ, 2012. – 100 с.
16. Гриценко Ю.Б. Архитектура предприятия: учебное пособие. – Томск: Эль Контент, 2011. – 206 с.
17. Абрамов Г.В., Медведкова И.Е., Коробова Л.А. Проектирование информационных систем: учебное пособие. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2012. – 172 с.
18. Сорокин А.А., Орлова А.Ю. Реинжиниринг бизнес-процессов: учебное пособие. – Ставрополь: СКФУ, 2014. – 212 с.
19. Антонов В.Ф., Москвитин А.А. Методы и средства проектирования информационных систем: учебное пособие. – Ставрополь: СКФУ, 2016. – 342 с.